Tachyon에 관한 硏究

—Bradyon과 Tachyon의 결합 모형과 核子의 구조—

玄 南 奎

A Study on Tachyon

—The Structure of the Nucleon as Compounds of a Bradyon and a Tachyon—

Hyun Nam-gyu

Summary

I supposed that a nucleon is composed of a bradyon and a tachyon with divergent relative speed. Then spin, magnetic moment and the masses of N, △ resonances are calculated.

序 論

Bradyon과 tachyon의 결합 모형에 의한 양성자의 구조(현, 1987)와는 다른 방법으로 대전된 tachyon의 질량 및 전하 분포를 가정하여 핵자의 spin, 자기 쌍극 능률, resonance 입자들의 질량 및 모든 N, △ resonance 입자들에 대한 가능한 rms(root mean square) 반경을 계산하고자 한다.

1. Bradyon과 Tachyon의 결합 모형

정지 질량이 m_0인 자유로운 bradyon과 순허수부 질량이 m_1인 자유로운 tachyon은 상대론적으로 불변인 방식으로 서로 결합할 수 있음은 이미 잘 알려진 사실(Corben, 1977, 1978a.b)이다.

간단하게 하기 위하여 bradyon 주위를 원궤도를 따라서 회전하는 tachyon을 생각하자. 결합된 상 입자 내부에서는 중력장과 유사한 강한장을 서로 작용한다고 가정한다면, tachyon의 총 에너지가 다음 식과 같이 주어진다(Castrorina and Recami, 1978).

$$E_t = \frac{m_1 C^2}{\sqrt{v^2 - 1}} + \frac{N m_1 m_0}{r\sqrt{v^2 - 1}} \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

海洋科學大學 專講

윗 식에서 V는 bradyon과 tachyon의 상대속도이고 r은 rms반경이며, 그 첫째 항은 총 자유에너지이고, 둘째 항은 위치 에너지를 나타낸다.

2. 양성자의 Spin, 자기 쌍극 능률 및 공명 입자의 질량

Bradyon과 tachyon의 결합체의 바닥상태 에너지를 bradyon의 정지질량 에너지로 둘 수 있다고 보면(현, 1987), 그 상태의 tachyon의 속력이 $|V|=\infty$ 이어서 에너지는 0이나 운동량은 실수인 최소값 m_1c를 가진다. Tachyon의 질량과 전하가 공간적인 분포를 한다고 가정하여 bradyon에 정지한 좌표계에서의 tachyon의 위치 vector r과 운동량 P등으로써 bradyon과 tachyon의 결합체의 spin과 자기 쌍극 능률을 정의할 수 있다.

1) Spin

938.3 MeV/c^2의 정지 질량을 가지나 대전되지 않았으며 좌표의 원점에 위치한 점입자 bradyon 주위를 순허수부 정지질량 2×139.6 MeV/c^2인 대전된 tachyon이 다음식과 같은 질량 밀도로써 분포되어 있다고 가정하자.

$$\rho'_{mp}(r)=\rho'_{mp1}(r)+\rho'_{mp2}(r)$$
$$=\frac{12\sqrt{3}}{4\pi}\left[\frac{0.5}{a_1^3}e^{-\sqrt{12}\frac{r}{a_1}}+\frac{0.5}{a_2^3}e^{-\sqrt{12}\frac{r}{a_2}}\right] \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서 a_1과 a_2는 각각 0.176fm, 0.864fm이다. 그런데 질량 밀도도 Lorentz 변환시킬 수 있으며, bradyon과 tachyon의 상대속도가 V인 경우에 다음식이 성립하므로,

$$\rho_{mp}(r)=\frac{\rho'_{mp}(r)}{\sqrt{V^2-1}} \quad \cdots\cdots (3)$$

bradyon 주위를 $|V|=\infty$의 속력으로 반경 r인 원궤도를 돌고 있는 tachyon의 Z축 주위에 대한 궤도 각운동량 J_z를 계산 가능하며, 이는 양성자 spin의 Z축 성분 S_z로 볼 수 있다. 여기서 tachyon의 정지질량 에너지를 $2m_1c^2=2\times139.6$MeV로 두면,

$$J_z=S_z$$
$$=\iiint_v r\sin\theta\frac{2m_1|V|}{\sqrt{V^2-1}}\rho'_{mp}(r)\,dV$$
$$=5.272\times10^{-35}(J\cdot S)$$
$$\cong\frac{1}{2}\hbar \quad \cdots\cdots (4)$$

2) 자기 쌍극 능률

양성자의 전하 밀도가 다음 식으로 분포되어 있는 대전된 tachyon의 전하에 기인한다고 하자.

$$\rho'_{Ep}(r)=\frac{12\sqrt{3}}{4\pi a_2^3}e^{-\sqrt{12}\frac{r}{a_2}} \quad \cdots\cdots (5)$$

전하 밀도 또한 Lorentz 변환 시킬 수 있으며,

$$\rho_{Ep}(r)=\frac{\rho'_{Ep}(r)}{\sqrt{V^2-1}} \quad \cdots\cdots (6)$$

식 (5), (6)에 의하여 자기 쌍극능률 μ를 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$\mu=\int_s\pi(r\sin\theta)^2e\,\rho'_{Ep}(r)\frac{V\cdot ds}{\sqrt{V^2-1}}$$
$$=1.41\times10^{-26}\ (J/Tesla)$$
$$\cong2.79\mu_N \quad \cdots\cdots (7)$$

여기서 μ_N은 nuclear magneton이다.

3) 공명 입자의 질량

核子의 중심은 정지해 있으나 그 주위를 속력 $|V|=\infty$로써 원궤도 위를 회전운동하고 있는 대전된 tachyon의 궤도 각운동량이 $(2\ell+1)\hbar$(단 $\ell=1,2,3\cdots$) 상태가 될 때 tachyon의 속력 $|V|$는 유한하게 되며 에너지 또한 0이 아닌 값을 가지게 되어, 이 에너지가 공명 입자들의 에너지를 계산하는데 기여한다고 가정하자. 그러면 각운동량의 Z축 성분이 $(2\ell+1)\hbar$인 공명 입자의 전에너지는 양성자의 정지질량 에너지, 입사 pion의 정지질량 에너지와 대전된 tachyon의 에너지의 합으로써 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{res} = \frac{2m_1c^2}{\sqrt{V^2-1}} + \frac{gg'}{r\sqrt{V^2-1}} + 1077.85$$

$$= \sqrt{(1+2\ell)^2-1}\left[2m_1c^2+\frac{gg'}{r}\right]$$

$$+1077.85(\mathrm{MeV}) \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

여기서 r는 rms(root mean square) 반경을 말하며, $J_z=\frac{1}{2}(2\ell+1)\hbar$가 되어야 하는 조건에 의하여 가능한 $|V|$ 값이 계산된다. 그리고 $gg'=0.08\hbar c$로 두었다. 식(8)에다 r=0.624fm을 대입시키고 공명 입자의 총에너지 $E_p(1,2)$를 계산한 결과는 table 1에 나타나 있다.

또한 공명이 일어날 조건이 $\rho_{mp1}(r)$에 의하여 야기된다면, $\rho_{mp2}(r)$에 의한 질량분포는 속력 $|V|=\infty$인 상태를 계속 유지한다고 가정할 수 있다. 그 때의 각 운동량 J_{p1z}는 다음 식과 같이 나타낼 수 있고,

$$J_{p1z} = (\frac{1}{2}+\ell)\hbar - J_{p_2z}$$

$$= (\frac{1-0.831}{2}+\ell)\hbar \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

그 때의 공명 입자의 총 에너지 $E_p(1)$은 다음 식과 같다.

$$E_p(1) = \sqrt{(1-0.831+2\ell)^2-1}$$

$$(m_1c^2+\frac{gg'}{a_1}) + 1077.85\,(\mathrm{Mev}) \cdots (10)$$

여기서 $a_1=0.176$fm이고, $m_1c^2=139.6$MeV이며, 계산된 결과 $E_p(1)$은 table 1에 나타나 있다. 이와 유사하게 공명이 일어날 조건이 $\rho_{mp2}(r)$에 의하여 야기된다면, $\rho_{mp1}(r)$에 의한 질량 분포는 속력 $|V|=\infty$인 상태를 계속 유지한다고 볼 수 있다. 따라서 그 때의 각운동량 J_{p2z}는 다음 식과 같다.

$$J_{p_2z} = (\frac{1}{2}+\ell)\hbar - J_{p_1z}$$

$$= (\frac{1-0.169}{2}+\ell)\hbar \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

그 때의 총 에너지를 $E_p(2)$라 하면,

$$E_p(2) = \sqrt{(1-0.169+2\ell)^2-1}$$

$$\times(m_1c^2+\frac{gg'}{a_2})+1077.85\,(\mathrm{Mev}) \cdots (12)$$

이고 $a_2=0.864$fm이며 그 결과 역시 table 1에 나타나 있다.

3. 중성자의 Spin, 자기 쌍극 능률 및 공명 입자의 질량

양성자의 경우와 유사하게 중성자의 spin, 자기 쌍극능률 및 공명 입자의 질량 등을 계산할 수 있다.

1) Spin

939.57MeV/c^2의 질량을 갖는 bradyon이 중심에 있고, 순허수부 질량이 $2m_1$인 tachyon이 그 주위를 원운동하고 있다고 보자. 그 때 tachyon의 질량 분포함수 $\rho_{mn}(r)$을 다음 식과 같이 두면,

$$\rho'_{mn}(r) = \rho'_{mn1}(r)+\rho'_{mn2}(r)$$

$$= \frac{12\sqrt{3}}{4\pi}\left[\frac{0.5}{b_1^3}e^{-\sqrt{12}\frac{r}{b_1}} + \frac{0.5}{b_2^3}e^{-\sqrt{12}\frac{r}{b_2}}\right]$$

$$\cdots\cdots (13)$$

이는 규격화 된다. 여기서 $b_1=0.224$fm, $b_2=0.815$fm로 두자. 그러면 $|V|=\infty$인 경우에 대하여 중성자의 spin은 다음식과 같이 계산된다.

$$J_z = S_z$$

$$= \int_v r\ \sin\theta\ \frac{2m_1}{\sqrt{V^2-1}}\rho'_{mn}(r)|V|\,dV$$

$$= 5.271(\mathrm{J/Tesla})$$

$$\simeq \frac{1}{2}\hbar \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

2) 자기 쌍극 능률

중성자의 전하 밀도가 다음 식과 같이 분포되어 있는 대전된 tachyon의 전하에 기인한다고 가정하자.

$$\rho'_{En}(r) = \frac{12\sqrt{3}}{4\pi}\left(\frac{0.5}{b_1^3}e^{-\sqrt{12}\frac{r}{b_1}} + \frac{-0.5}{b_2^3}\right.$$

$$e^{-\sqrt{12}\frac{r}{b_2}}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

(6)식과 유사하게 자기 쌍극능률을 다음 식과 같이 계산 가능하다.

$$\mu = \int_s \pi(r\sin\theta)^2\ 2e\ \rho'_{En}(r)\frac{\mathbf{V}\cdot d\mathbf{s}}{\sqrt{\mathbf{V}^2-1}}$$
$$= -0.965\times10^{-26}(\mathrm{J/Tesler})$$
$$\cong -1.911\ \mu_N \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

3) 공명 입자의 질량 계산

식(8)과 유사하게 공명 입자의 총에너지는 중성자의 정지질량 에너지, 입사 pion의 정지질량 에너지와 tachyon의 에너지의 합으로써 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{res} = \frac{2m_1c^2}{\sqrt{\mathbf{V}^2-1}} + \frac{gg'}{r\sqrt{\mathbf{V}^2-1}} + 1079.14$$
$$= \sqrt{(1+2\ell)^2-1}\left[2m_1c^2+\frac{gg'}{r}\right]$$
$$+ 1079.14\ (\mathrm{Mev}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

여기서 r=0.597fm를 대입시키고 계산한 공명 입자의 총에너지 $E_n(1,2)$는 table 1에 나타나 있다.

또한 공명이 일어날 조건이 $\rho_{mn1}(r)$에 의해서 야기된다면, $\rho_{mn2}(r)$에 의한 질량 분포는 속력이 $|\mathbf{V}|=\infty$인 상태를 계속 유지한다고 볼 수 있다. 그 때의 각 운동량을 J_{n1z}라 하면 다음 식과 같이 나타낼 수 있고,

$$J_{n_1z} = (\frac{1}{2}+\ell)\hbar - J_{n_2z}$$
$$= (\frac{1-0.784}{2}+\ell)\hbar \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

그 때의 공명 입자의 총 에너지를 $E_n(1)$이라 하면,

$$E_n(1) = \sqrt{(1-0.784+2\ell)^2-1}\,(m_1c^2+\frac{gg'}{b_1})$$
$$+ 1079.14\,(\mathrm{Mev}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

여기서 $b_1=0.224$fm이고 $m_1c^2=139.6$MeV이며, 그 결과는 table 1에 나타나 있다. 이와 유사하게 공명이 일어날 조건이 $\rho_{mn2}(r)$에 의해서 야기된다면, $\rho_{mn1}(r)$에 의한 질량 분포는 속력 $|\mathbf{V}|=\infty$인 상태를 계속 유지한다고 볼 수 있으므로 그 때의 각운동량 J_{n2z}는

$$J_{n2z} = (\frac{1}{2}+\ell)\hbar - J_{n1z}$$
$$= (\frac{1-0.215}{2}+\ell)\hbar \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

그 때의 총 에너지를 $E_n(2)$라 하면,

$$E_n(2) = \sqrt{(1-0.215+2\ell)^2-1}\left[m_1c^2+\frac{gg'}{b_2}\right]$$
$$+ 1079.14\,(\mathrm{Mev}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (21)$$

여기서 $b_2=0.815$fm이며, 그 결과는 table 1에 나타나 있다.

4. Bradyon이 대전되어 있는 경우

양성자의 중심에 정지질량이 938.3MeV/c^2이고 전하 q가 $-\frac{1}{3}e$인 bradyon이 있고, 순허수부 질량이 139.6MeV/c^2이며 전하 q가 $\frac{4}{3}e$인 대전된 tachyon이 그 주위를 돈다고 가정하면, 전절과 유사한 논의를 할 수 있다. 또한 중성자의 경우는 중심에 939.57MeV/c^2의 정지 질량과 $+\frac{1}{3}e$의 전하를 갖는 대전된 bradyon이 있고, 139.4MeV/c^2의 순허수부 질량과 $-\frac{1}{3}e$의 전하를 갖는 대전된 tachyon이 그 주위를 돈다고 볼 수 있을 것이다.

5. 대전된 Tachyon의 rms 반경이 변하는 경우

Bradyon과 tachyon의 결합 모형에 의한 양성자의 구조(현, 1987)의 논의에서 bradyon 주위를 원운동하는 대전된 tachyonic pion의 속력이 유한할 때 그 반경이 변하는 경우에 대하여 논하고자 한다.

여기된 상태의 양성자의 rms 반경을 (질량 밀도 함수 $\rho_m(r)$과 $\rho_{m'}(r)$의 각각의 rms 반경을 a_1, a_2'이라고정의할 때) a_1, a_2으로부터 계산할 수 있

Table 1. Masses of Nucleon Resonances(N) and Delta Resonances(△)

Particle	J	Experimental Masses of N and △ Mass (MeV)	Calculated Masses of N and △ (MeV) Proton $E_p(1)$	$E_p(2)$	$E_p(1,2)$	Neutron $E_n(1)$	$E_n(2)$	$E_n(1,2)$
P(N)	1/2	938.3(939.6)			938.3			939.6
N (1520)	3/2	1510-1530	1519	1495		1494	1492	
△ (1905)	5/2	1890-1920		1823			1822	
△ (1930)	5/2	1890-1960	2005			1939		
△ (1920)	3/2	1860-2160			1939			1943
N (2190)	7/2	2120-2230		2144			2145	
N (2220)	9/2	2150-2300		2462			2466	
N (2600)	11/2	2580-2700		2780			2785	
N (3000)	13/2	2900-3100		3097			3104	
N (3500)	15/2	3300-3700		3413			3423	
N (3800)	17/2	3600-4000		3730			3742	
N (4100)	19/2	3900-4300		4046			4060	

으며, 바닥상태에서의 각각의 rms 반경들 a_1, a_2로 써 다음식과 같이 둘 수 있다고 가정하자.

$$a_1' = \lambda a_1,\ a_2' = \lambda a_2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (22)$$

여기서 λ는 결정되어야 할 상수이다.

그러면 여기 상태의 전하 분포는 ground state와 비교하여 보았을 때에, 그 모양은 변하지 않았으나 rms 반경이 달라진 경우에 해당된다고 볼 수 있다. 이 경우에 대전된 tachyonic-pion의 총 에너지는

$$E_t = \left[\frac{4}{\lambda^2}\left(\frac{1}{2}+\ell\right)^2 - 1\right]^{\frac{1}{2}} \left(m_1 c^2 + \frac{gg'}{\lambda a}\right) \cdots (23)$$

이므로,공명입자의 총 에너지는 다음 식과 같다.

$$E_{tot} = \left(\frac{4}{\lambda^2}\left(\frac{1}{2}+\ell\right)^2 - 1\right)^{\frac{1}{2}} \left(m_1 c^2 + \frac{gg'}{\lambda a}\right) + 1077.85(\text{MeV}) \cdots\cdots\cdots 24)$$

실험 결과(Wohl C. G, Chan P. N et al, 1984)에 의거하여 모든 N, △ resonance 입자들의 질량과 가능한 rms 반경들을 계산한 결과를 table 2에 나타내었다.

結　　論

Bradyon과 tachyon의 결합 모형을 핵자(양성자, 중성자)에 적용시켜 핵자의 spin, 자기능률 및 핵자의 여기상태로서의 공명 입자들의 질량을 계산하였다. 그 결과는 bradyon과 tachyon의 결합 모형에 의한 양성자의 구조(현, 1987)와 유사하나 보다 더 많은 공명 입자들의 질량을 계산할 수 있었다. 이에 대한 보다 일반적인 논의가 되게 하기 위해서는 여기된 상태에서의 대전된 tachyonic-pion의 rms 반경이 바닥 상태의 그것과 다르다고 가정할 필요가 있는데, table 2에서 그 가능한 값들을 계산한 결과 모든 N, △ resonance 입자들의 rms 반경이 0.21fm에서 2.14fm 사이의 값을 취하였다.

또한 매우 흥미로운 핵자의 중심에 위치한 bradyon이 전하를 띠고 있는 경우에 대한 논의와, 이 논문의 2, 3절에서 표기한 $\rho_{mp1}(r)$, $\rho_{mp_2}(r)$; ρ

Table 2. Masses and rms radiuses of the Nucleon Resonances and Delta Resonances

Particle	J	Mass (MeV/c^2)	Mass(calculated) (MeV/c^2)	λ	rms Radius (calculated) (fm)
P	1/2	938	938	1.00	1.043
N (1440)	1/2	1400-1480	1438	0.49	0.511
N (1535)	1/2	1520-1560	1531	0.37	0.386
N (1650)	1/2	1620-1680	1655	0.31	0.323
N (1710)	1/2	1680-1740	1710	0.29	0.302
N (2090)	1/2	1880-2180	2096	0.21	0.214
N (1700)	3/2	1670-1780	1696	0.75	0.782
N (1720)	3/2	1690-1830	1716	0.73	0.761
N (2080)	3/2	1830-2100	2081	0.50	0.521
N (1675)	5/2	1620-1690	1676	1.23	1.283
N (2000)	5/2	1882-2175	2002	0.84	0.876
N (2200)	5/2	1900-2228	2199	0.71	0.740
N (1990)	7/2	1970-2018	1986	1.16	1.210
N (2190)	7/2	2120-2230	2186	0.97	1.012
N (2220)	9/2	2150-2300	2219	1.19	1.241
N (2250)	9/2	2130-2270	2252	1.16	1.210
N (2600)	11/2	2580-2700	2603	1.10	1.147
△(1550)	1/2	1506-1550	1548	0.36	0.375
△(1620)	1/2	1600-1650	1619	0.32	0.339
△(1900)	1/2	1850-2000	1897	0.24	0.250
△(1910)	1/2	1850-1950	1912	0.23	0.247
△(2150)	1/2	2047-2203	2147	0.19	0.206
△(1232)	3/2	1230-1234	1234	2.23	2.138
△(1600)	3/2	1522-1690	1603	0.86	0.897
△(1700)	3/2	1630-1740	1696	0.75	0.782
△(1920)	3/2	1860-2160	1918	0.58	0.605
△(1905)	5/2	1890-1920	1911	0.92	0.959
△(1930)	5/2	1890-1960	1932	0.90	0.939
△(2350)	5/2	2305-2400	2347	0.638	0.667
△(1950)	7/2	1910-1960	1952	1.20	1.251
△(2200)	7/2	2200-2280	2199	0.96	1.001
△(2390)	7/2	2350-2425	2390	0.83	0.871
△(2300)	9/2	2217-2450	2298	1.12	1.168
△(2400)	9/2	2200-2468	2402	1.04	1.085
△(2420)	11/2	2380-2450	2415	1.24	1.293
△(2750)	13/2	2650-2794	2749	1.18	1.230
△(2950)	15/2	2850-2990	2948	1.21	1.267

$\rho_{mn1}(r)$, $\rho_{mn2}(r)$에 대하여, 각각 tachyonic－π, π^+; π^+, π^- 입자의 질량 밀도 함수로 볼 수 있는지에 대한 논의는 차후 연구 과제로 둔다.

摘　　要

Bradyon과 tachyon의 결합 모형을 핵자에 적용시켜서 핵자의 spin과 자기 쌍극 능률, 공명 입자들의 가능한 질량은 물론 대전된 tachyonic-pion의 rms 반경이 여기 상태에서 변한다고 가정할 경우 그 가능한 값들을 계산하였다.

參 考 文 獻

Castrorina, P. and Recami, E. 1978, Hadrons as Compounds of Bradyon Particles and Tachyons. *Lett. Nuovo Cimento.* 22 : 195～201.

Corben, H. C. 1977. Relativistic Selftrapping of Hadrons. *Lett. Nuovo Cimento.* 20 : 645～648.

Corben, H. C. 1978a. The ϕ, f', F, K Spectrum. *Lett. Nuovo Cimento.* 22 : 116～120.

Corben, H. C. 1978b. Tachyon Monopoles and Related Topics E. Recami (ed). pp. 31～41. North-Holland, Amsterdam.

현남규, 1987, Tachyon에 관한 연구 －Bradyon과 Tachyon의 결합 모형과 양성자의 구조－ 제주대학교 논문집 (자연과학), 24 : 67～74.